



فلز زیر کونیوم به  
خاطر مقاومت زیاد  
نسبت به خوردگی  
و خزش بالا- خزش  
یکی از ویژگی‌های  
فلزات است که  
تمایل به تغییر شکل  
فلز در تنش‌های  
مداوم و ثابت را  
نشان می‌دهد- و  
همچنین استحکام  
زیاد مورد استفاده  
قرار می‌گیرد  
چون قرار است  
در راکتوری کار  
کند که محیط آن  
همراه با دما و فشار  
فوق‌العاده و محیط  
خورنده است

✓ کوره قوس  
الکتریک برای  
کربولیزاسیون  
کردن سنگ معدن  
زیرکونیوم

بعد از فیلتر این محلول زلال می‌شود و ما آن را داخل مخزن‌هایی بارگیری می‌کنیم.

در این قسمت که انواع محلول‌ها، شوینده‌ها و اسیدها به کار می‌روند جلوه زیبایی را شاهد بودیم زیرا چندین باکس وجود داشت که در هر کدام محلولی و به رنگی جاری بود و ما را به یاد آبمیوه‌فروشی‌هایی انداخت که در هر ظرف خود آب میوه‌ای به رنگ‌های مختلف دارند.

مهندس توضیحش را ادامه داد و گفت: «در این مرحله محلول خوراک آماده و ارسال می‌شود به طبقه دیگر که باکس‌های استخراج وجود دارد و در این باکس‌ها عمل جداسازی هافنیوم و استخراج زیرکونیوم با استفاده از برخی مواد جاذب و حلال از جمله تری بوتیل فسفات، صورت می‌گیرد. خروجی این قسمت محلول زیرکونیوم است که به وسیله آب دمیل شسته شده و دیگر هافنیوم ندارد و کاملاً خالص است. این محلول زیرکونیوم خالص شده از هافنیوم در یک حوض پلاستیکی و زلال جمع‌آوری می‌شود. این محلول کمتر از یک PPM هافنیوم دارد یعنی یک مولکول هافنیوم در یک میلیون زیرکونیوم که در واقع صفر است.

در ادامه کار باید این محلول آبی را به  $ZrO_2$  تبدیل نماییم. برای این کار این محلول زلال را به یک سری تانکرهای مخصوص در پایین منتقل می‌کنیم.»

قبل از این که به مرحله بعد برویم از او در مورد هافنیوم و کاربرد آن پرسیدم. او نیز ضمن تأکید بر اهمیت و ارزش این ماده تصریح کرد: «البته ما هافنیوم چندانی تولید نمی‌کنیم و به عنوان یک عنصر مزاحم برایمان محسوب می‌شود.»

در مرحله بعد به محلول آبی، اسید  $HCl$  می‌زنیم تا خنثی شود بعد به آن گاز آمونیاک اضافه می‌کنیم که  $Zr(OH)_4$  (هیدروکسید زیرکونیوم) را به ما می‌دهد که به صورت رسوب است و این رسوب را از فیلتری عبور می‌دهیم تا رطوبت را جذب کرده و به صورت یک کیک مرطوب به ما پس دهد. این کیک مرطوب در کوره‌ای دراز و دورانی با دمای متوسط  $700^\circ C$  درجه دچار فعل و انفعالات کلسیناسیون می‌شود و آب غیر پیوندی آن تبخیر و در اثر حرارت زیاد  $Zr(OH)_4$  به  $ZrO_2$  تبدیل می‌شود که یک پودر سفید رنگ است.

ابهت ساختمان و تجهیزات و فرآیند پیچیده‌ای که صورت می‌گیرد ما را به بیان این سوال واداشت که آیا همه این تجهیزات و فرآیند کار طراحی ایرانی است که پاسخ نیز جالب بود زیرا مسئول شیفت تأکید کرد: «بله، تجهیزات این جا همه کاملاً ایرانی است و حتی کوره‌های دوار کارخانه سیمان که قطر بیشتری دارند نیز در ایران ساخته شده و کشورمان در این حوزه به پیشرفت‌های بسیار خوبی رسیده است.»

نتیجه نهایی این واحد که مهم‌ترین بخش تولید اسفنج زیرکونیوم است تولید پودر سفید رنگ  $ZrO_2$  (دی‌اکسید زیرکونیوم) با گرید هسته‌ای است.

ما از واحد کربولیزاسیون  $ZrC$  نام دارد.

در زمان حضور ما در این کارگاه فعالیتی مشاهده نمی‌شد که همین باعث کنجکاوی من شد وقتی علت را پرسیدم، کارشناس مربوطه این گونه پاسخ داد که این کارگاه به صورت بیج کار می‌کند یعنی یک بیج تولید می‌کند و الان همه کار انجام شده و در حال اورهال است.

قبل از خروج  $ZrC$  از این کارگاه باید دانه‌بندی شود تا در کارگاه بعدی از دانه‌بندی مشخص استفاده گردد. در گوشه‌ای از سالن ظروف حاوی این  $ZrC$  دیده می‌شد، یکی از آن‌ها را در دست گرفتم، به نظر سنگین‌تر از ظاهرش بود که علت می‌توانست در جرم حجمی بالای زیرکونیوم باشد. بوی باروت و گوگرد می‌دهد. رنگ‌های زیبایی که ناشی از عناصر مخلوط در این سنگ است چشم‌نواز به نظر می‌رسند.  $ZrC$  نقره‌ای و طلایی است و ممکن است نیترات هم داشته باشد که به صورت طلایی درمی‌آید. خواصم یکی از آن‌ها را به عنوان یادگاری داشته باشم اما گویا پرارزش‌تر از آن بود که هر بازدیدکننده‌ای تکه‌ای از آن را بردارد.

### ❖ کارگاه دوم کلر یزاسیون

به کارگاه بعدی که در کنار کارگاه اول است رفتیم این جا را قسمت کلر یزاسیون نام نهاده‌اند. در این واحد  $ZrC$  کلرینه می‌شود. به این شکل که در یک راکتور گاز کلر از یک سو و  $ZrC$  نیز از سوی دیگر تزریق می‌شود.

$ZrC$  و کلر در دمای حدود  $600^\circ C$  درجه یک واکنش خود به خودی انجام می‌دهند که در نتیجه کربن باقی می‌ماند و  $Zr$  با کلر ترکیب شده و  $ZrCl_4$  می‌دهد که به صورت پودر سفید رنگی است. این واکنش کلر یزاسیون در یک راکتور بزرگ انجام می‌شود که نزدیک شدن به آن بدون ماسک و پوشش مناسب خطرناک است. از همان فاصله چند متری نیز سوزش گلو که ناشی از گاز کلر است ناراحت کننده به نظر می‌رسد.

علت تبدیل  $ZrC$  به  $ZrCl_4$  هم این بود که نقطه ذوب  $ZrC$  بالای  $2500^\circ C$  درجه است که با تبدیل آن به  $ZrCl_4$  باعث می‌شود تا دمای تصعید به  $330^\circ C$  درجه برسد.

### ❖ کارگاه خالص سازی

در واحد خالص سازی اولیه  $ZrCl_4$  به بخار تبدیل می‌شود و بر اساس نقطه تصعیدش، ناخالصی‌های آن از جمله آلومینیوم، سیلیسیم، آهن و... که همراه  $ZrCl_4$  هستند اما نقطه تصعیدشان متفاوت است را جدای می‌کنند و  $ZrCl_4$  را خالص می‌کنند.  $ZrCl_4$  که به صورت بخار است، در کندانسوری که آب در کنارش حرکت می‌کند سرد شده و به صورت جامد درمی‌آید. در انتهای کار ما  $ZrCl_4$  داریم که ناخالصی‌های فلزی خود را از دست داده و تنها ناخالصی همراه آن عنصری به نام هافنیوم است که همه شرایط فیزیکی آن شبیه زیرکونیوم بوده و زیرکونیوم داستان ما باید برای رسیدن به گرید هسته‌ای این هافنیوم را نیز از دست بدهد و کاملاً خالص گردد.

### ❖ زیرکونیوم با گرید هسته‌ای

یکی از مهم‌ترین مراحل تولید اسفنج زیرکونیوم واحد جداسازی هافنیوم است و در واقع زمانی زیرکونیوم گرید هسته‌ای پیدا می‌کند که هافنیوم از زیرکونیوم جدا شده باشد و زیرکونیوم خالص به دست آوریم.

این واحد نسبت به سایر بخش‌های مجموعه ZPP تمیزتر و پیشرفته‌تر است. مسئول شنیفیت در این واحد برای ما توضیح داد که ورودی و خوراک این جا  $ZrCl_4$  خالص شده‌ای است که به صورت کلوخ بوده و همچنان هافنیوم را دارد. این کلوخ‌ها ابتدا در یک دستگاه خرد کن در حد میکرون خرد می‌شوند و سپس به یک تانکر منتقل می‌گردند. در این تانکر با اسید نیتریک و آب یون‌دایی شده (آب دمیل) حل شده و یک محلول اولیه به دست می‌آید که با عبور از یک فیلتر برخی ذرات ناخالصی آن گرفته می‌شود.



### ❖ زیرکونیوم، یک فلز بسیار مقاوم

از او علت انتخاب زیرکونیوم برای ساخت قطعات به کار رفته در مجتمع سوخت را پرسیدم که پاسخ داد: «فلز زیرکونیوم به خاطر مقاومت زیاد نسبت به خوردگی و خزش بالا- خزش یکی از ویژگی‌های فلزات است که تمایل به تغییر شکل فلز در تنش‌های مداوم و ثابت را نشان می‌دهد- و همچنین استحکام زیاد مورد استفاده قرار می‌گیرد چون قرار است در راکتوری کار کند که محیط آن همراه با دما و فشار فوق‌العاده و محیط خورنده است ضمن این که باید در حالت آویزان باشد و همزمان شکل خود را حفظ کند. همچنین گرید هسته‌ای زیرکونیوم قابلیت جذب نوترون پایینی دارد و می‌تواند نوترون را از خود عبور دهد که این مسئله در راکتور بسیار مهم است.»

مجموعه این خواص باعث شده تا از آلیاژهای فلز زیرکونیوم برای راکتورهای هسته‌ای در همه جای دنیا استفاده شود.

### ❖ گام اول کارگاه کربولیزاسیون

بعد از شنیدن این اطلاعات ابتدایی به سراغ فرآیند تولید زیرکونیوم با گرید هسته‌ای رفتیم. در کارگاه اول که کربولیزاسیون نام دارد، به کمک پترولیوم کک که یک نوع کک نفتی است در کوره قوس الکتریک و در دمای حدود  $2500^\circ C$  درجه کربن  $ZrSiO_4$  را احیا می‌کند و به  $ZrC$  تبدیل می‌شود. از سوی دیگر نیز  $SiO_4$  به صورت سیلیس خارج می‌گردد که محصول جانبی ماست. محصول خروجی

